

Teresina, PI / Outubro, 2024



## A qualidade de água em fazendas de carcinicultura do estuário dos rios Cardoso e Camurupim

Alexandre Kemenes<sup>(1)</sup>, Alitieni Moura Lemos Pereira<sup>(2)</sup>, Carlos Eduardo Lira dos Santos Silva<sup>(3)</sup> e Cristina Arzabe<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup>Pesquisador, Embrapa Meio-Norte / UEP-Parnaíba, Parnaíba, PI. <sup>(2)</sup>Pesquisadora, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE. <sup>(3)</sup>Engenheiro de Pesca, estudante de doutorado, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE. <sup>(4)</sup>Pesquisadora, Embrapa Inteligência e Relações Estratégicas (SIRE), Brasília, DF.

### Embrapa Meio-Norte

Av. Duque de Caxias, 5.650,  
Bairro Buenos Aires  
Caixa Postal 01  
64008-480 Teresina, PI  
[www.embrapa.br/meio-norte](http://www.embrapa.br/meio-norte)  
[www.embrapa.br/fale-conosco/sac](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac)

#### Comitê Local de Publicações

Presidente  
*Braz Henrique Nunes Rodrigues*  
Secretária-executiva  
*Edna Maria Sousa Lima*  
Membros  
*Lígia Maria Rolim Bandeira,*  
*Orlane da Silva Maia, Maria*  
*Eugênia Ribeiro, Kaesel Jackson*  
*Damasceno Silva, Ana Lúcia*  
*Horta Barreto, José Oscar*  
*Lustosa de Oliveira Júnior,*  
*Marcos Emanuel da Costa*  
*Veloso, Flávio Favaro Blanco,*  
*Francisco de Brito Melo, Izabella*  
*Cabral Hassum, Tânia Maria Leal,*  
*Francisco das Chagas Monteiro e*  
*José Alves da Silva Câmara*

#### Edição executiva

*Lígia Maria Rolim Bandeira*  
Revisão de texto  
*Francisco de Assis David da Silva*  
Normalização bibliográfica  
*Orlane da Silva Maia (CRB-3/915)*  
Projeto gráfico  
*Leandro Sousa Fazio*  
Diagramação  
*Jorimá Marques Ferreira*  
Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

**Resumo** — A criação de camarão-cinza (*Litopenaeus vannamei*) tem-se expandido ao longo de toda a costa da região Nordeste do Brasil. Entretanto, o sistema apresenta o potencial de gerar impactos junto aos ecossistemas aquáticos naturais. Essa pesquisa contribui para a avaliação de um sistema fluvial e a influência da carcinicultura sobre ele. O estudo teve por objetivo investigar os parâmetros ambientais em três fazendas de camarão-cinza localizadas no estuário dos rios Cardoso e Camurupim, no estado do Piauí. Ocorreu entre novembro de 2005 e setembro de 2006, quando 17 parâmetros limnológicos foram coletados em três fazendas de camarão e em dois rios próximos, avaliados com o auxílio de um índice de qualidade da água. As diferenças da qualidade de água foram mais intensas durante a estação seca, podendo apresentar impactos mais severos durante esse período. Os índices hidrológicos de estado trófico identificaram sistemas de produção sustentáveis com restrições de uso. A suscetibilidade dos ecossistemas costeiros torna o monitoramento ambiental de sistemas de produção uma prática importante para a conservação dos ambientes estuarinos, auxiliando também na qualidade de vida dos ribeirinhos.

**Termos para indexação:** *Litopenaeus vannamei*, estuários do Nordeste do Brasil, parâmetros de qualidade de água, monitoramento ambiental.

**Abstract** — Gray shrimp (*Litopenaeus vannamei*) farming has expanded along the entire coast of the Northeast region of Brazil. However, the system has the potential to impact natural aquatic ecosystems. This research contributes to the evaluation of a river system and the influence of carciniculture on it. The study aimed to investigate the environmental parameters in three gray shrimp farms located in the estuary of the Cardoso and Camurupim rivers, in the state of Piauí. Between November 2005 and September 2006, 17 limnological parameters were collected from three shrimp farms and two nearby rivers and evaluated with the help of the quality index. The differences,

in water quality, were more intense during the dry season, and may present more severe impacts in this period. The hydrological indexes of trophic state identified sustainable production systems with use restrictions. The susceptibility of coastal ecosystems makes the environmental monitoring of production systems an important practice for the conservation of estuarine environments, helping the quality of life of the riverside dwellers.

**Index terms:** *Litopenaeus vannamei*, Northeast Brazilian estuaries, water quality parameters, environmental monitoring.

## Introdução

A costa do Brasil é muito extensa (cerca de quatro mil quilômetros) e o tamanho de nossos estuários permite a instalação de diversos sistemas de maricultura. Entretanto, esse desenvolvimento deve respeitar a sustentabilidade das atividades extrativistas humanas e a conservação ambiental dos ecossistemas aquáticos e terrestres. Sistemas produtivos de maricultura, como as fazendas de carcinicultura, podem causar fortes impactos ambientais e devem ser investigados (Mesquita et al., 2012).

Os impactos ambientais resultantes do cultivo do camarão-cinza (*Litopenaeus vannamei*, Boone, 1931) receberam grande relevância pelo intenso desmatamento realizado em florestas de manguezal, diminuição da diversidade biológica, bloqueio do fluxo de marés e contaminação dos estuários (Maireles, 2014). A devastação dos manguezais para construção das fazendas de carcinicultura causou impactos significativos e de grandes dimensões, afetando diretamente as espécies naturais, que utilizam o local como berçários, e consequentemente as atividades econômicas das comunidades tradicionais costeiras (Tahim et al., 2019).

A água é um componente primordial para a vida e deve ser mantida dentro de condições mais adequadas ao uso. A disponibilidade de água de boa qualidade é um fator limitante para o bom desenvolvimento dos organismos aquáticos, tanto em sistemas produtivos quanto em ambientes naturais. O impacto do processo de eutrofização, resultante do descarte incorreto de águas oriundas da atividade, pode ser minimizado por meio do constante monitoramento dos parâmetros ambientais de qualidade de água, em busca da conservação

das condições mais adequadas à sustentabilidade ambiental (Ferreira et al., 2011).

A água contém diversas características que podem ser avaliadas por meio de programas de monitoramento ambiental dos ecossistemas costeiros, utilizando-se diversos estudos ambientais (Sá, 2012). O monitoramento da qualidade de água deve avaliá-la conforme a legislação vigente (Brasil, 2005). Entretanto, realizar análises ambientais visa não somente à adequação às leis, mas também à manutenção das condições naturais e à melhoria da qualidade de vida das populações ribeirinhas, que necessitam de condições adequadas para exercerem as suas atividades de subsistência, como a pesca artesanal e o extrativismo animal.

Condições inadequadas da qualidade de água podem dificultar o bom funcionamento das atividades fisiológicas dos organismos aquáticos, acarretando stress, facilitando a entrada de doenças e aumentando a mortalidade, podendo trazer sérios problemas para os produtores e dificuldade para o sustento das famílias ribeirinhas (Lins et al., 2010). Entre os diferentes métodos utilizados para avaliar a qualidade de água de um sistema produtivo, os índices de qualidade de água são largamente utilizados e com eficácia comprovada (Correia et al., 2015). O presente estudo está na temática Vida na Água, um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 14), relacionado ao desenvolvimento, conservação e uso sustentável dos oceanos, mares e recursos marinhos. Portanto, o objetivo principal deste estudo foi investigar os parâmetros ambientais de qualidade de água de fazendas de camarão e no estuário dos rios Cardoso e Camurupim, no litoral do Piauí.

## Material e métodos

### Descrição da área de estudo

O sistema estuarino dos rios Cardoso e Camurupim se situa nos municípios de Luís Correia e de Cajueiro da Praia, no litoral no norte do estado do Piauí. Ocupa uma área aproximada de 700 ha, envolvendo parte da área de proteção ambiental (APA) do Delta do Parnaíba. A escala temporal avaliada mostrou grande importância para o levantamento histórico da área, além de auxiliar na compreensão dos impactos locais.

Neste estudo, foram realizadas coletas mensais durante o período de outubro de 2005 a setembro de 2006, em três fazendas de carcinicultura da região. As fazendas possuem viveiros de engorda do camarão-cinza *L. vannamei*, com renovação parcial de água. A Fazenda 1 utiliza o rio Cardoso como fonte de abastecimento e as Fazendas 2 e 3 utilizam o rio Camurupim. Para cada fazenda, foram definidos nove pontos de coleta: 1 – Local do bombeamento de água para a fazenda; 2 – Montante do bombeamento de água; 3 – Jusante da drenagem; 4 – Montante da drenagem; 5 – Comporta de abastecimento do viveiro x; 6 – Comporta de drenagem do viveiro x; 7 – Comporta de abastecimento do viveiro y; 8 – Comporta de drenagem do viveiro y; e 9 – Canal de drenagem. Nos pontos 1, 2, 3 e 4, foram realizadas coletas durante as marés seca e cheia, observadas seguindo a tábua de maré para a região; já nos pontos 5, 6, 7 e 8, foram escolhidos aleatoriamente dois viveiros em cada fazenda e nomeados como “x” e “y”. Além desses pontos, também foram coletadas amostras controle, em ambiente natural, nos rios Cardoso e Camurupim e no oceano Atlântico (Figura 1).

### Coleta dos dados

Foram avaliados mensalmente 17 parâmetros ambientais de qualidade de água em cada ponto de coleta, dos quais oito parâmetros foram avaliados in situ: temperatura, oxigênio dissolvido (OD), potencial de oxirredução (ORP), salinidade, pH, densidade e condutividade elétrica por uma sonda multiparâmetros e transparência da água por um disco Secchi convencional. Nove parâmetros ambientais foram determinados [sólidos totais dissolvidos (STD), sólidos totais em suspensão (STS), alcalinidade, amônia, nitrito, nitrato, clorofila-a, ortofosfato e fósforo total] no Laboratório de Água e Solos da Embrapa Meio-Norte. As análises de STS e de STD foram realizadas por métodos de filtração, descritos por Eaton et al. (2005). A clorofila-a, a alcalinidade de  $\text{CaCO}_3$ , a amônia, o nitrito, o nitrato, o fósforo total e o ortofosfato foram determinados por meio de um espectrofotômetro visível por UV, também de acordo com Eaton et al. (2005).

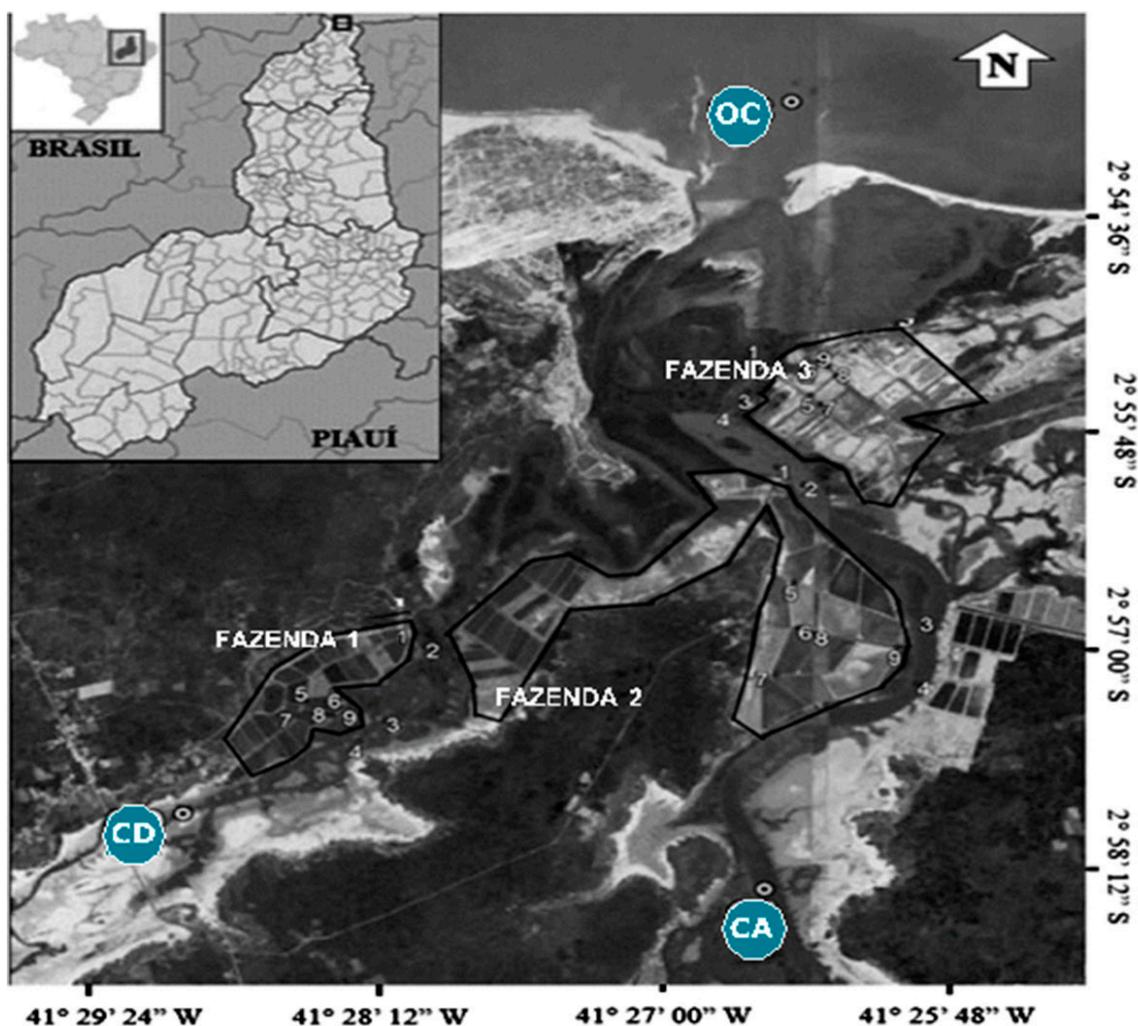


Figura 1. Localização geográfica das três fazendas de carcinicultura avaliadas e os pontos de coleta em ambiente natural: CD – Rio Cardoso; CA – Rio Camurupim; OC – Oceano Atlântico, localizados no litoral do estado do Piauí, Brasil.

Os dados mensais de precipitação foram obtidos pela estação meteorológica 82287 (03°05'S; 41°46'W) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada a uma distância aproximada de 40 km dos locais de coleta, na busca de um padrão climático e ambiental sazonal dos dados de qualidade de água. Na região do estudo, a estação chuvosa corresponde aos meses de janeiro a maio e a estação seca, ao período de junho a dezembro.

### Análise dos dados

Os dados coletados foram avaliados quanto à normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e homocedastidade (teste de Levene). Em seguida, foi feita uma análise de variância a fim de avaliar a intensidade das diferenças entre as três fazendas e os ambientes naturais. O teste de Tukey, com 5% de probabilidade, foi usado para indicar os locais ou períodos que foram considerados significativamente diferentes em relação aos 17 parâmetros ambientais analisados: temperatura, oxigênio dissolvido, potencial de oxirredução, salinidade, pH, densidade, condutividade elétrica, transparência da água, sólidos totais dissolvidos, sólidos totais em suspensão, alcalinidade, amônia, nitrito, nitrato, clorofila-a, ortofosfato e fósforo total. Esses parâmetros ambientais da qualidade de água analisados foram correlacionados pelo índice de correlação simples de Pearson ( $\rho$ ), avaliando-se o grau de significância estatística. Uma forte correlação considera  $\rho > 0,5$  ou  $\rho < -0,5$ ; para  $-0,5 < \rho < -0,3$  ou  $0,5 > \rho > 0,3$ , uma correlação moderada; e para  $\rho < 0,3$  ou  $\rho > -0,3$ , nenhuma correlação (Hinkle et al., 2003). Para avaliar as correlações estatisticamente significativas a 5% ( $p < 0,05$ ), foi realizado o teste T de Student (Sneath; Sokal, 1973).

Os parâmetros ambientais foram agregados em eixos ortogonais, usando-se escala multidimensional e análise de componentes principais, a fim de identificar quais parâmetros são mais significativos para a variação ambiental. A relação entre os parâmetros ambientais foi investigada por meio de regressão linear simples (Sneath; Sokal, 1973). Foi feita uma comparação entre os parâmetros de qualidade de água à Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil, 2005) e outros estudos científicos, com o objetivo de auxiliar na compreensão dos resultados encontrados.

O índice hidrológico para carcinicultura (IH) foi calculado pelos métodos propostos por Beltrame et al. (2006). Foram utilizados quatro parâmetros ambientais: salinidade, OD, pH e turbidez. Em relação à salinidade, foram utilizados valores propostos por Carbajal-Hernández et al. (2012) e receberam peso 1, já que existem cultivos de camarão marinho em baixa salinidade. A variável turbidez foi calculada indiretamente, por meio de sua correlação altamente significativa com a transparência da água (-0,948, segundo Ballantine et al., 2015). A turbidez recebeu peso 5 devido à sua importância no desenvolvimento dos organismos cultivados (Beltrame et al., 2006; Ferreira et al., 2011). O OD e o pH são parâmetros fundamentais para a manutenção da vida e para processos biogeoquímicos. Entretanto, receberam pesos 2 e 3, respectivamente, pela possibilidade de serem manipulados nos ambientes de produção (Ferreira et al., 2011).

Beltrame et al. (2006) propuseram seis classes para avaliar as quatro variáveis propostas na tentativa de encontrar condições ótimas para os sistemas de produção de maricultura (Tabela 1).

**Tabela 1.** Classes de peso para as quatro variáveis ambientais utilizadas no índice de qualidade de água.

Classe	Salinidade (ppt) <sup>(1)</sup>	Turbidez (NTU) <sup>(2)</sup>	pH	OD (mgL <sup>-1</sup> )
5	20	<10	8	> 7,0
4	15-23	10-20	7,5-8 ou 8-8,5	6-7
3	0-15 ou >23	20-35	7-7,5 ou 8,5-9	5-6
2	-	35-60	6,5-7 ou 9-9,5	4-5
1	-	60-100	6-6,5 ou 9,5-10	3-4
0	-	100-150	5,5-6 ou 10-10,5	2-3
<b>Peso específico</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

<sup>(1)</sup>Adaptado de Carbajal-Hernández et al. (2012).

<sup>(2)</sup>NTU = unidade de turbidez nefelométrica.

Fonte: Beltrame et al. (2006).

O valor de cada variável (SVS) para cada local de coleta foi obtido multiplicando-se a classe variável (VR) por seu peso específico (VW), Equação 1 (Beltrame et al., 2006).

$$SVS \text{ var} = VR \text{ var} \times VW \text{ var} \dots\dots\dots (1)$$

O valor final do ponto de coleta ou da estação (FSS) foi obtido multiplicando-se as quatro variáveis, Equação 2 (Beltrame et al., 2006).

$$FSS = SVS \text{ Salinidade} \times SVS \text{ Turbidez} \times SVS \text{ pH} \times SVS \text{ OD} \dots\dots\dots (2)$$

De acordo com Beltrame et al. (2006), o valor do FSS pode variar de 0 a 18,75. Para facilitar a determinação do IH, a Equação 3 foi utilizada para que seja obtido o índice hidrológico que é classificado em cinco classes de sistemas de produção de camarão, de acordo com Ferreira et al. (2011) (Tabela 2).

**Tabela 2.** Distribuição dos valores do índice hidrológico em cinco classes para sistemas produtivos de carcinicultura.

IH	Classe
> 9,0	Sustentável sem restrições
7,5 – 9,0	Sustentável com restrições
5,5 – 7,5	Sustentável com médias restrições
3,0 – 5,5	Sustentável com altas restrições
< 3,0	Insustentável

Fonte: Ferreira et al. (2011).

$$HI = 0,8546 \times (FSS) 0,25 \dots\dots\dots (3)$$

Foram realizadas análises de regressão simples, agrupamento, fatores e componentes principais com os parâmetros ambientais de qualidade de água para determinar as correlações significativas entre as variáveis estudadas, buscando auxiliar na compreensão dos resultados encontrados (Sneath; Sokal, 1973). Além disso, foi realizada uma comparação dos resultados obtidos para os parâmetros ambientais de qualidade de água avaliados com os padrões pré-estabelecidos pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) nº 357/2005 (Brasil, 2005) e também com outros estudos já realizados.

## Resultados e discussão

O monitoramento constante dos parâmetros ambientais de qualidade de água é atividade fun-

damental para compreender melhor o funcionamento dos sistemas produtivos de maricultura e avaliar seus impactos sobre os ambientes naturais do entorno. Esse procedimento poderá tornar o manejo mais eficiente e racional, melhorando a produtividade, evitando prejuízos junto aos produtores. Por meio do Teste ANOVA e Tukey, foi possível identificar que as diferenças entre os parâmetros ambientais de qualidade de água das fazendas de camarão e o ambiente natural do entorno foram mais intensas durante a estação seca. No período chuvoso, os parâmetros ambientais analisados não mostraram diferenças significativas (Tabela 3).

Durante o período aproximado de um 1, foram investigados os parâmetros ambientais de qualidade de água de três fazendas de carcinicultura, cujos resultados foram inter-relacionados pelo índice de correlação simples de Pearson (Tabela 4).

Foi encontrado alto grau de covariância entre os 17 parâmetros ambientais e obtidas 43 correlações significativas, mostrando o elevado nível de correlação entre as variáveis investigadas. O parâmetro que apresentou o maior número de correlações significativas foi a amônia, com oito correlações, seguida pela salinidade, alcalinidade e condutividade, todas com sete correlações significativas (Tabela 4). Todos os parâmetros apresentaram correlações significativas, e o nitrato apresentou o menor número, com apenas uma com o nitrito. Para reduzir o alto grau de covariação entre variáveis e avaliar os graus de liberdade das análises estatísticas, eixos ortogonais ordinais foram criados por meio de uma escala multidimensional (Figura 2).

Por meio da análise de fatores, foram criados os eixos ortogonais que explicam a variabilidade ambiental entre os pontos de coleta. Por essa análise, foram selecionados três eixos principais, que explicam a maior parte das interrelações ambientais, ou seja, explicam as variações ambientais encontradas (Tabela 5).

O eixo 1 está fortemente correlacionado aos parâmetros ambientais conectados ao nitrogênio e fósforo, demonstrando a estreita ligação entre as variáveis. O eixo 2 repete alguns dos parâmetros presentes no eixo 1, entretanto, está mais fortemente correlacionado aos parâmetros básicos de qualidade de água do meio aquático, como pH, condutividade, salinidade, OD e alcalinidade. Já o eixo 3 envolve aspectos ligados às características fotoluminescentes da água, como transparência, sólidos totais e clorofila-a (Tabela 5).

**Tabela 3.** Valores anuais (máximo, média, mínimo e desvio-padrão) dos parâmetros ambientais de qualidade de água obtidos nas três fazendas de camarão e a média dos dois pontos de controle (ambiente natural nos rios Camurupim e Cardoso) e coeficiente de variação (CV) para períodos secos e chuvosos.

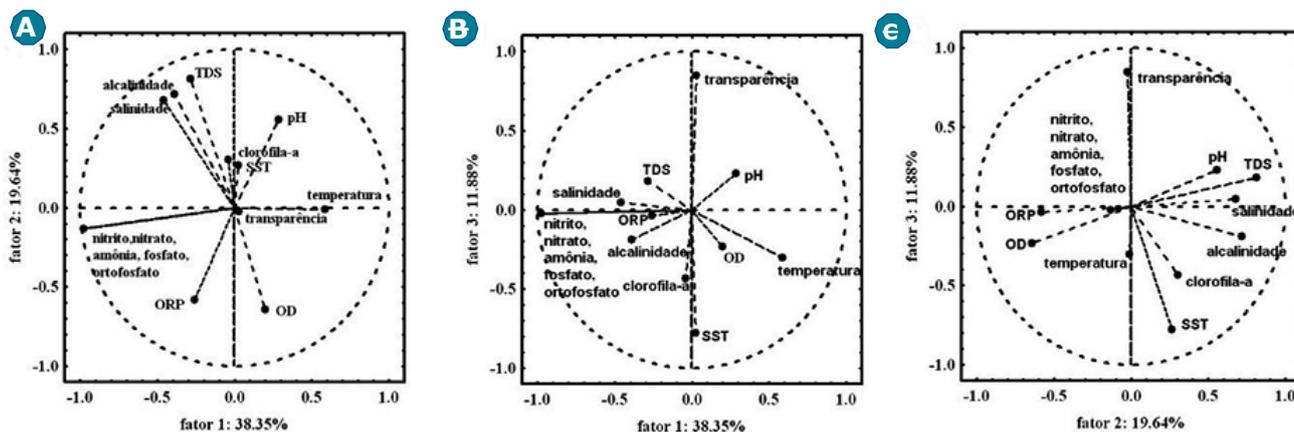
		Parâmetro Ambiental																															
		Conductividade				Temperatura				Salinidade				Densidade da água				Fósforo total															
		(mS/cm)				(mg L <sup>-1</sup> )				(°C)				(kg m <sup>-3</sup> )				(mg L <sup>-1</sup> )															
		OD				STD				STP				STC				STN															
		(mg L <sup>-1</sup> )				(ppt)				(m)				(mg L <sup>-1</sup> )				(mg L <sup>-1</sup> )															
		Transparência				ORP				Alcalinidade				Clorofila				Amônia				Nitrato				Nitrato				Ortofosfato			
		(mV)				(mV)				(mg L <sup>-1</sup> )				(mg L <sup>-1</sup> )				(mg L <sup>-1</sup> )				(mg L <sup>-1</sup> )				(mg L <sup>-1</sup> )							
<b>Fazenda 1</b>	Máx	8,7	8,6	13,2	32,3	60	51,0	1.040,0	353	1,3	172	217	140,5	0,314	0,038	0,147	0,193	0,201															
	Méd	7,7	5,8	8,5	29,3	37,8	34,9	1.025,2	222,2	0,5	77,4	148,7	13,5	0,083	0,006	0,040	0,032	0,058															
	Mín	7,0	1,0	5,7	26,8	3	6,0	1.000,0	82,0	0,2	10,0	56,0	0,0	0,000	0,000	0,009	0,002	0,014															
	DP	1,9	1,9	1,8	1,2	13,5	11,1	10,3	68,8	0,2	28,8	35,7	20,5	0,093	0,008	0,024	0,027	0,033															
<b>Fazenda 2</b>	Máx	8,6	8,2	15,1	32,2	60	49,0	1.039,0	325	1,8	204	187	33,1	0,196	0,038	0,156	0,050	0,078															
	Méd	7,9	6,0	9,3	29,2	39,4	35,7	1.025,7	213,1	0,8	60,8	136	5,5	0,046	0,004	0,044	0,018	0,037															
	Mín	7,1	3,1	6,5	26,8	20	19,0	1.010,0	84,0	0,2	16,0	96,0	0,0	0,000	0,000	0,005	0,000	0,012															
	DP	0,3	1,2	1,8	1,1	8,7	7,0	6,6	44,0	0,3	27,2	19,2	5,8	0,007	0,007	0,025	0,013	0,016															
<b>Fazenda 3</b>	Máx	8,4	7,9	13,1	32,7	56	47,0	1.037,0	332	1,6	240	199	46,4	0,258	0,007	0,101	0,092	0,153															
	Méd	7,8	5,9	9,1	29,0	40	35,6	1.025,6	212,4	0,7	63,9	133,7	6,6	0,045	0,002	0,040	0,018	0,044															
	Mín	7,3	3,8	6,1	25,2	20	23,0	1.014,0	-10,0	0,3	22,0	100	0,0	0,000	0,000	0,010	0,000	0,009															
	DP	0,2	1,0	1,8	1,2	7,3	6,2	5,8	58,6	0,3	31,3	15,5	10,1	0,057	0,002	0,019	0,021	0,028															
<b>Ambiente natural</b>	Máx	8,0	6,8	12,5	30,0	48,0	41,0	1.031,0	313	0,5	128	205	9,8	0,248	0,024	0,102	0,039	0,086															
	Méd	7,5	4,5	9,3	28,9	29,6	27,4	1.018,5	251,4	0,4	92,3	132,6	4,1	0,147	0,012	0,052	0,022	0,050															
	Mín	7,1	0,8	6,4	27,8	2,0	5,2	1.000,0	94,0	0,3	67,0	53,0	0,0	0,001	0,001	0,026	0,003	0,030															
	DP	0,3	2,1	2,0	0,8	15,7	12,7	11,3	68,6	0,1	19,4	46,9	3,8	0,086	0,009	0,029	0,013	0,019															
<b>Período chuvoso</b>	CV	3,3	38,4	24,7	4,1	41,1	37,9	1.007,6	25,4	44,9	11,8	26,2	80,2	76,8	117,1	57,4	63,3	41,4															
Fazendas/ ambiente natural		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-															
<b>Período seco</b>	CV	3,4	18,1	19,2	17,1	20,1	18,1	1.021,1	28,9	48,7	12,3	16,9	135,1	136,7	144,1	56,8	86,3	48,1															
Fazendas/ ambiente natural		*	*	-	*	*	*	*	-	*	*	*	*	*	*	*	*	*															

\* Teste de Tukey: houve diferenças significativas a 5% (p<0,05); - não houve diferença significativa.

**Tabela 4.** Índice de correlação simples de Pearson para os parâmetros ambientais avaliados [(1 - pH; 2 - Condutividade (mS/cm); 3 - Oxigênio dissolvido (mg L<sup>-1</sup>), 4 - Temperatura (°C); 5 - Salinidade (ppt); 6 - Total de sólidos dissolvidos (mg L<sup>-1</sup>); 7 - Densidade da água (kg m<sup>-3</sup>), 8 - ORP (mV); 9 - Transparência (m); 10 - Sólidos totais em suspensão (mg L<sup>-1</sup>); 11 - Alcalinidade (mg L<sup>-1</sup>); 12 - Clorofila-a (mg m<sup>-3</sup>); 13 - Amônia (mg L<sup>-1</sup>); 14 - Nitrato (mg L<sup>-1</sup>); 15 - Nitrito (mg L<sup>-1</sup>); 16 - Ortosfato (mg L<sup>-1</sup>); e 17 - Fósforo total (mg L<sup>-1</sup>)]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	1																
2	<b>0,39*</b>	1															
3	-0,21	<b>-0,54*</b>	1														
4	0,11	-0,23	0,14	1													
5	0,12	<b>0,70*</b>	<b>-0,36*</b>	<b>-0,36*</b>	1												
6	<b>0,39*</b>	<b>1,00*</b>	<b>-0,53*</b>	-0,23	<b>0,70*</b>	1											
7	<b>0,38*</b>	<b>1,00*</b>	<b>-0,54*</b>	-0,27	<b>0,70*</b>	<b>1,00*</b>	1										
8	<b>-0,47*</b>	-0,16	<b>0,37*</b>	<b>-0,30*</b>	-0,21	-0,16	-0,16	1									
9	0,12	0,10	-0,09	-0,17	0,02	0,10	0,10	-0,04	1								
10	-0,03	0,11	0,00	0,12	0,18	0,11	0,11	-0,07	<b>-0,55*</b>	1							
11	0,05	<b>0,68*</b>	<b>-0,43*</b>	-0,18	<b>0,66*</b>	<b>0,68*</b>	<b>0,68*</b>	-0,16	-0,16	0,25	1						
12	0,16	0,08	0,08	0,12	0,06	0,08	0,08	-0,22	<b>-0,38*</b>	<b>0,45*</b>	0,28	1					
13	<b>-0,40*</b>	<b>-0,51*</b>	0,12	<b>0,37*</b>	<b>-0,57*</b>	<b>-0,52*</b>	<b>-0,52*</b>	0,29	-0,29	0,00	<b>-0,37*</b>	-0,17	1				
14	<b>-0,52*</b>	-0,16	-0,04	0,06	-0,27	-0,16	-0,16	<b>0,38*</b>	-0,17	0,00	0,00	-0,16	<b>0,50*</b>	1			
15	-0,05	0,22	-0,29	-0,15	0,07	0,22	0,22	0,13	0,10	-0,05	0,09	-0,21	0,23	<b>0,46*</b>	1		
16	0,08	0,04	-0,10	0,20	0,08	0,03	0,03	-0,21	<b>-0,39*</b>	<b>0,41*</b>	0,27	<b>0,39*</b>	-0,01	-0,04	-0,19	1	
17	0,18	0,19	-0,17	0,06	0,20	0,20	0,20	-0,21	<b>-0,37*</b>	<b>0,48*</b>	<b>0,42*</b>	<b>0,52*</b>	-0,13	-0,06	-0,18	<b>0,83*</b>	1

\*Correlações significativas a 5% (p<0,05) com o teste T.



**Figura 2.** Análise de componentes principais para os parâmetros ambientais em três fazendas de camarão: eixo 1 (A), eixo 2 (B) e eixo 3 (C).

**Tabela 5.** Análise de fatores entre os 17 parâmetros ambientais avaliados nas três fazendas de carcinicultura do estuário dos rios Cardoso e Camurupim. Os valores em negrito apresentaram significância estatística.

Parâmetro ambiental	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3
pH	0,11	<b>0,61*</b>	0,13
Condutividade	<b>-0,56*</b>	<b>0,78*</b>	0,10
OD	0,37	<b>-0,52*</b>	-0,12
Temperatura	<b>0,58*</b>	0,13	-0,31
Salinidade	<b>-0,54*</b>	<b>0,70*</b>	-0,04
STD	<b>-0,56*</b>	<b>0,77*</b>	0,10
Densidade	<b>-0,58*</b>	<b>0,76*</b>	0,10
ORP	-0,13	<b>-0,51*</b>	0,11
Transparência	0,00	0,07	<b>0,83*</b>
STS	-0,03	0,19	<b>-0,79*</b>
Alcalinidade de CaCO <sub>3</sub>	-0,48	<b>0,53*</b>	-0,28
Clorofila-a	-0,08	0,17	<b>-0,50*</b>
Amônia	<b>-0,88*</b>	-0,44	-0,03
Nitrito	<b>-0,88*</b>	-0,44	-0,03
Nitrato	<b>-0,88*</b>	-0,44	-0,03
Ortofosfato	<b>-0,88*</b>	-0,44	-0,03
Fósforo	<b>-0,88*</b>	-0,44	-0,03

Dos parâmetros ambientais de qualidade de água avaliados, o oxigênio é o principal componente responsável pela vida. É utilizado pelos organismos para obtenção de energia por meio da respiração celular (Doi et al., 2012). Uma concentração baixa de  $O_2$  dissolvido na água submete os organismos ao estresse respiratório, diminuindo o apetite e aumentando a susceptibilidade a diversas doenças (Sá, 2012). Ao analisar os resultados, foi encontrado que o oxigênio dissolvido na água, dentro dos sistemas produtivos, variou entre 5,7 e 15,1  $mg L^{-1}$ , com média de 8,9  $mg L^{-1}$ .

Os valores encontrados neste estudo estão de acordo com os padrões pré-estabelecidos pelo Conama nº 357/2005, que estabelece um limite mínimo de 6,0  $mg L^{-1}$  para o oxigênio dissolvido em águas salinas, classe 1 (Brasil, 2005). Os valores de oxigênio dissolvido no entorno das fazendas de carcinicultura, ou seja, nos ambientes naturais do estuário, variaram entre 5,8 e 13,4  $mg L^{-1}$ , com média de 9,5  $mg L^{-1}$ , valor pouco superior ao encontrado dentro dos sistemas produtivos. Os valores mais baixos de oxigênio dissolvido na água, 5,7  $mg L^{-1}$  (Tabela 3), foram encontrados em fevereiro de 2006 nos pontos próximos aos locais de bombeamento de água para a Fazenda 1. Entretanto, a maioria está entre os valores de referência pré-indicados em estudos anteriores [6,58  $mg L^{-1}$  (Campos et al., 2008); 6,3  $mg L^{-1}$  (Garcia et al., 2009); 3-7  $mg L^{-1}$  (Boyd; Zimmermann, 2010); >3,0  $mg L^{-1}$  (Ferreira et al., 2011)].

A temperatura da água nos viveiros manteve uma média anual de 29 °C, que variou entre 25,2 °C (junho/2006) e 32,7 °C (outubro/2006). As temperaturas nos ambientes naturais do entorno mostraram poucas diferenças entre os sistemas produtivos e variaram entre 27,1 e 30,3 °C, com média anual de 28 °C (Tabela 3). Os resultados encontrados estão de acordo com os valores de referência dos sistemas produtivos de carcinicultura [28 °C (Campos et al., 2008); 28,8 °C (Garcia et al., 2009); 24,5 – 29,5 °C (Silva et al., 2009); 25 – 32 °C (Boyd; Zimmermann, 2010)]. No mesmo período, a temperatura da água, a salinidade e a alcalinidade mantiveram valores que refletem as boas condições ambientais desses sistemas produtivos.

A quantidade de oxigênio que se difunde na água é dependente de um equilíbrio dinâmico entre os parâmetros ambientais citados. A água que apresenta um elevado teor de salinidade apresenta alta alcalinidade, conforme descrito por Boyd

e Zimmermann (2010), o que corrobora os resultados obtidos. A solubilidade do oxigênio diminui com a elevação da salinidade com o aumento da alcalinidade (Figuras 3C e 3D). Neste estudo, os valores de salinidade variaram entre 24 e 60 ppt, com valores médios de 40 ppt, dentro dos sistemas produtivos (Tabela 3). Nos ambientes naturais do entorno, a salinidade apresentou valores similares aos sistemas produtivos. Segundo Esteves (2011), água com salinidade acima de 40 ppt é considerada hipersalina. Os valores encontrados neste estudo foram superiores aos valores de referência em sistemas produtivos de carcinicultura [22,3 ppt, (Garcia et al., 2009); 15 ppt, (Ferreira et al., 2011); 12,92-35,41 ppt, (Borges et al., 2012)].

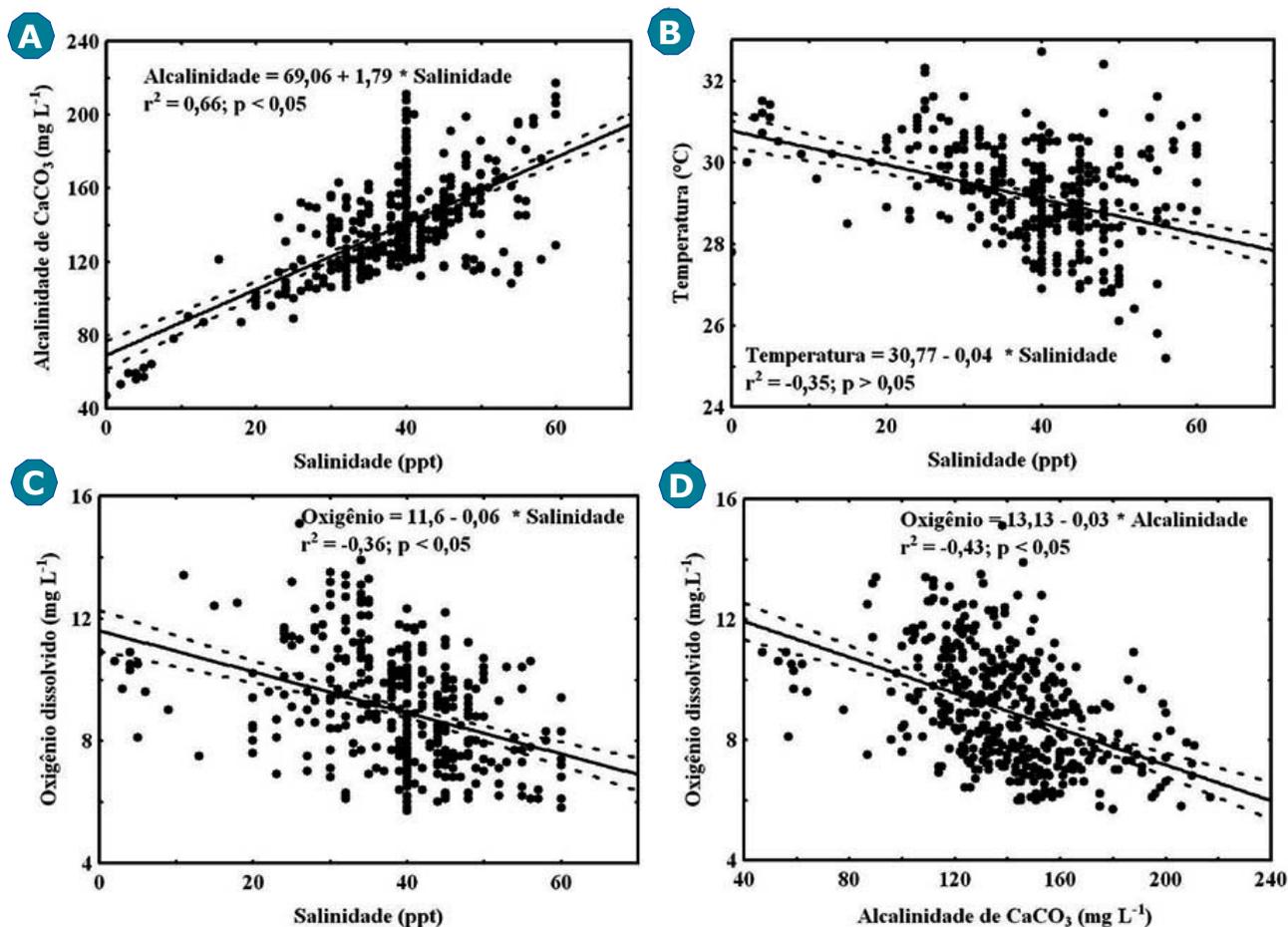
De acordo com Esteves (2011), os valores de pH de 6,5 a 9,0 foram considerados adequados à vida dos organismos aquáticos, e a grande maioria dos ambientes aquáticos apresenta pH entre 6,0 e 8,5. No entanto, é possível encontrar ambientes ácidos ou alcalinos, com comunidades adaptadas a cada uma dessas realidades. Esteves (2011) afirmou que os ecossistemas aquáticos com elevados valores de pH são encontrados em regiões influenciadas pelo mar, e podem aumentar durante o dia em função das atividades fotossintéticas. Segundo Sá (2012), quando o pH é elevado, ou seja, com valores acima de 9, existe a formação de amônia tóxica, não ionizada, e quando o pH está abaixo de 5, existe a formação de gás sulfídrico.

Na maioria dos estudos anteriores, foram sugeridos os valores de referência de pH entre 7 e 9 [7,72 (Campos et al., 2008); 7,4 (Garcia et al., 2009); 7,05-8,88 (Silva et al., 2009); 7,0-8,5 (Boyd; Zimmermann, 2010); 7 (Ferreira et al., 2011); 7,77-8,63 (Borges et al., 2012)]. Neste estudo, o pH obteve médias mensais entre 6,9 e 8,1, com média anual de 7,8 (Tabela 3). A Resolução Conama Nº 357/05 estabeleceu para águas salinas da classe 1 a faixa de valores entre 6,5 e 8,5 (Brasil, 2005). O pH ótimo para a atividade enzimática de peixes e camarões são valores próximos a 7,4, que é justamente o pH do sangue desses animais (Sá, 2012).

A substância que mais influencia o pH da água é a concentração de  $CO_2$  dissolvido, ocorrendo a formação do ácido carbônico. A alcalinidade é um parâmetro ambiental diretamente correlacionado às atividades fotossintéticas e o pH é um excelente indicador ambiental. Apesar de não terem sido

obtidos valores diretos do  $\text{CO}_2$  dissolvido na água, a alcalinidade de  $\text{CaCO}_3$  é um parâmetro que pode funcionar como bom indicador ambiental. O  $\text{CaCO}_3$  apresentou valores de 58 a 217  $\text{mg L}^{-1}$ , com média anual de 140  $\text{mg L}^{-1}$  (Tabela 3), próximo dos valores de referência em estudos anteriores [20-60  $\text{mg L}^{-1}$   $\text{CaCO}_3$  (Boyd; Zimmermann, 2010); 100  $\text{mg L}^{-1}$   $\text{CaCO}_3$  (Ferreira et al., 2011)] (Figura 4D). Para o bom desenvolvimento dos camarões, a água deve apresentar alcalinidade mínima de 60  $\text{mg L}^{-1}$   $\text{CaCO}_3$  (Barbieri Júnior; Ostrensky Neto, 2002).

O valor de pH apresenta efeito direto sobre as atividades bacterianas e diversos outros processos biogeoquímicos em meio aquático (Nicol et al., 2008). Neste estudo, foi encontrada influência significativa do pH sobre as concentrações de amônia e de nitrito (Figuras 4A e 4B). De acordo com a Resolução Conama Nº 357/2005, os padrões de referência estabelecidos para amônia ( $\text{N-NH}_3$ ), nitrito ( $\text{N-NO}_2$ ) e nitrato ( $\text{N-NO}_3$ ), na qualidade de água da classe 1, são 0,40; 0,07; e 0,40  $\text{mg L}^{-1}$ , respectivamente (Brasil, 2005).



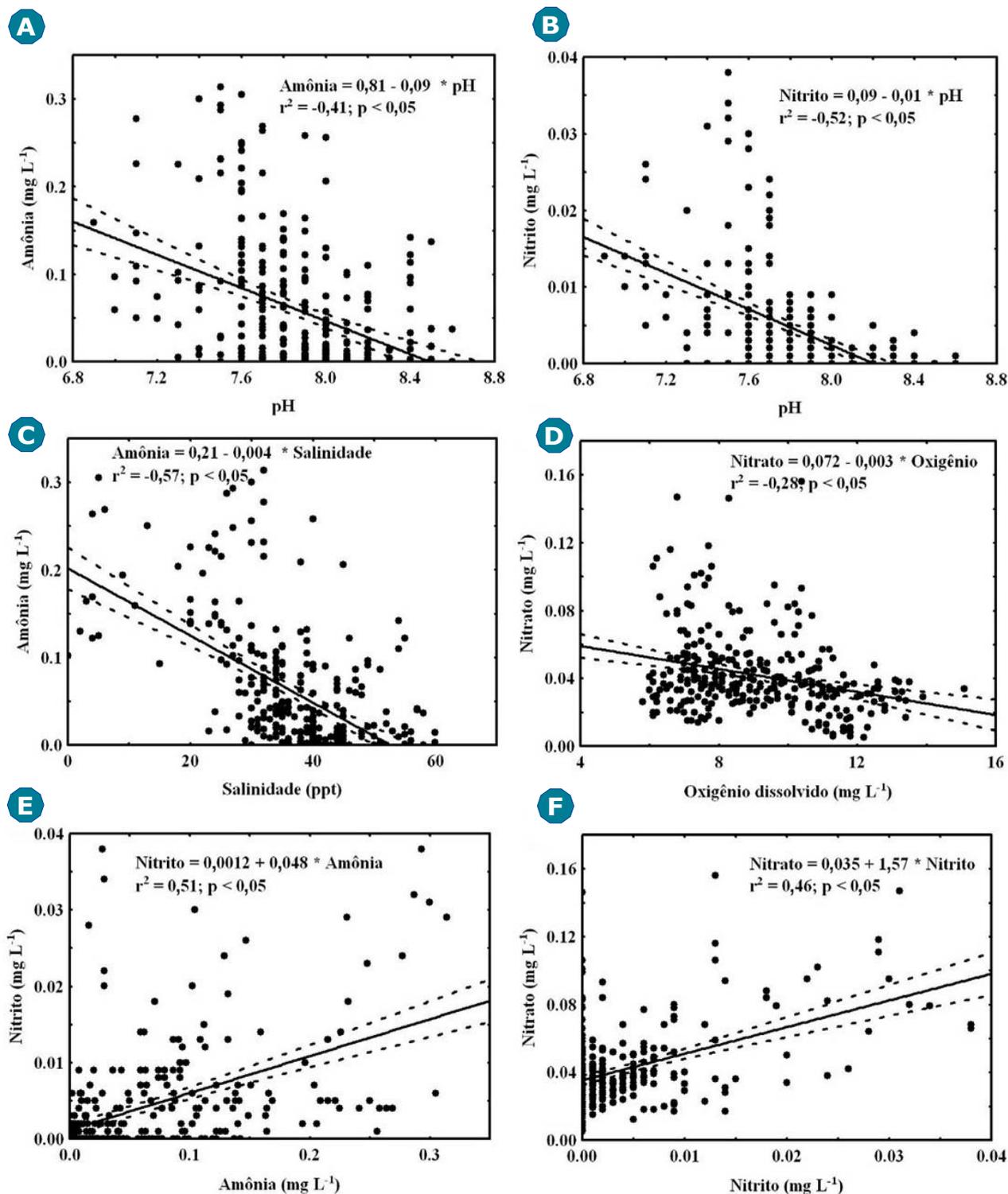
**Figura 3.** Influência da salinidade sobre a alcalinidade (A), temperatura da água (B) e concentração de oxigênio dissolvido (C); e da alcalinidade sobre a concentração de oxigênio dissolvido na água (D).

Os compostos de nitrogênio são caracterizados como macronutrientes, pois, depois do carbono, são os elementos mais exigidos pelas células vivas, também como os elementos mais importantes para o metabolismo aquático (Esteves, 2011). Nos estudos realizados nas fazendas de carcinicultura, foram sugeridos valores de referência para amônia, nitrito e nitrato de, respectivamente, [ $<1,0$ ;  $<1,0$ ; e  $<60$   $\text{mg L}^{-1}$  1,40; 0,08; e 0,76  $\text{mg L}^{-1}$  (Campos et al., 2008);  $<0,1$ ;  $<0,1$ ; e  $<10$   $\text{mg L}^{-1}$  (Ferreira, 2009); 0,2; 0,2; e 0,7  $\text{mg L}^{-1}$  (Ferreira et al., 2011)]. Neste

estudo, a amônia, o nitrito e o nitrato apresentaram valores médios anuais, dentro dos viveiros das fazendas estudadas, de 0,06; 0,004; e 0,042  $\text{mg L}^{-1}$ , respectivamente (Tabela 3). Esses valores estão de acordo com as referências citadas. Até mesmo os valores máximos obtidos de 0,32; 0,04; e 0,15  $\text{mg L}^{-1}$ , amônia, nitrito e nitrato, respectivamente, estão dentro dos valores de referência da Resolução Conama Nº 357/2005 (Brasil, 2005). A amônia se torna mais tóxica com o aumento do pH, cujas altas concentrações de amônia tóxica ( $\text{NH}_3$ ) foram encontradas em águas

básicas, enquanto a amônia menos tóxica ( $\text{NH}_4$ ) foi encontrada em águas ácidas (Sá, 2012) (Figura 4A). A Figura 4E mostra que determinadas condições ambientais permitiram a oxidação da amônia em nitrito e posteriormente em nitrato, que pode ser utilizado na alimentação das algas, incrementando o processo de fotossíntese. A diminuição da concentração de oxigênio dissolvido está aliada ao aumento da concentração de

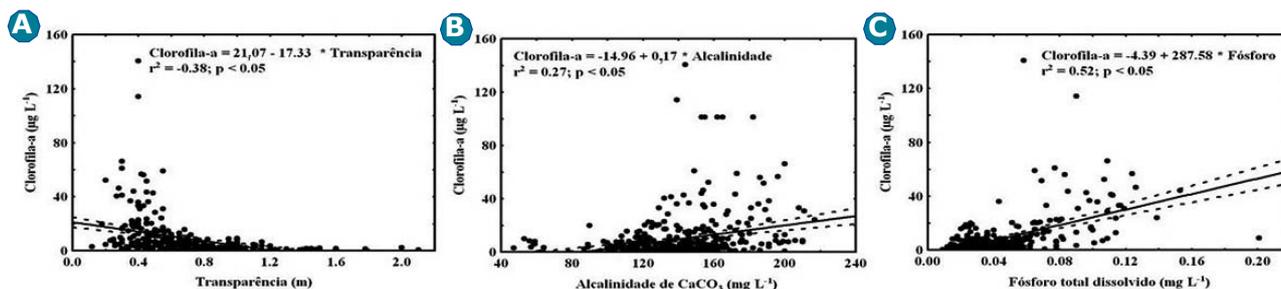
nitrato (Figura 4D). A diminuição de oxigênio na água pode fazer com que o nitrato seja reduzido a nitrito e posteriormente à amônia, podendo prejudicar o desenvolvimento dos organismos em manejo (Sá, 2012). O aumento da salinidade foi inversamente proporcional ao incremento da amônia no meio (Figura 4C), demonstrando influência direta e proporcional sobre a diminuição do oxigênio dissolvido na água (Figura 3C).



**Figura 4.** Influência do pH sobre a amônia (A) e nitrito (B); da salinidade sobre a amônia (C); do oxigênio dissolvido sobre o nitrito (D); da amônia sobre o nitrito (E); e do nitrito sobre o nitrato (F).

A clorofila-a é o elemento celular responsável pela fotossíntese da quase totalidade dos vegetais, tanto aquáticos quanto terrestres. Sua concentração é um indicador de biomassa de fitoplâncton em meio aquático e sua permanência na água é extremamente necessária ao bom funcionamento dos sistemas produtivos de maricultura (Esteves, 2011). A clorofila-a apresentou, nas três fazendas avaliadas, uma média anual de  $8,21 \text{ mg m}^{-3}$ , com valores que variaram entre 0 e  $140,54 \text{ mg m}^{-3}$  (Tabela 3). Segundo os estudos de Boyd (1990), o valor ideal

da clorofila-a para a maricultura deve estar acima de  $5 \text{ mg m}^{-3}$ , podendo chegar até a  $75 \text{ mg m}^{-3}$ . Já Ferreira et al. (2011) determinaram que o valor deve permanecer acima de  $10 \text{ mg m}^{-3}$  para o bom funcionamento do sistema de carcinicultura. Entretanto, o aumento da concentração de nutrientes na água de cultivo pode resultar num aumento da proliferação de algas, podendo provocar um processo de eutrofização local (Esteves, 2011), com graves consequências para os sistemas produtivos (Figuras 5A e 5B).



**Figura 5.** Influência da transparência (A), da alcalinidade (B) e do fósforo total dissolvido (C) sobre a concentração de clorofila-a na água.

O fósforo é componente essencial à vida animal e vegetal; os vegetais aquáticos absorvem diretamente da água e os animais o consomem no alimento (Sá, 2012). Neste estudo, o fósforo total apresentou valores entre  $0,009$  e  $0,201 \text{ mg L}^{-1}$  e média anual de  $0,046 \text{ mg L}^{-1}$  (Tabela 3). Segundo a Resolução Conama N° 357/2005, o valor máximo de referência desse parâmetro gira em torno de  $0,062 \text{ mg L}^{-1}$  para águas salinas (Brasil, 2005). Os estudos já realizados em fazendas de carcinicultura apresentaram valores próximos aos obtidos neste estudo [ $0,003$ - $0,34 \text{ mg L}^{-1}$  (Boyd; Zimmermann, 2010);  $0,2 \text{ mg L}^{-1}$  (Ferreira et al., 2011)].

O ortofosfato ou fosfato inorgânico dissolvido, por ser a principal forma de fósforo assimilada pelos vegetais aquáticos, é o principal tipo de fósforo estudado (Sá, 2012) (Figura 5C). O ortofosfato apresentou valores que variaram entre 0 e  $0,193 \text{ mg L}^{-1}$ , com média anual de  $0,023 \text{ mg L}^{-1}$  (Tabela 3), permanecendo dentro dos limites encontrados em estudos em fazendas de carcinicultura [ $< 0,5 \text{ mg/L}$  (Nunes et al., 2005);  $0,14$ - $0,22 \text{ mg/L}$  (Silva, 2011)].

O índice hidrológico para carcinicultura (IH) tem como objetivo principal avaliar o potencial de

aproveitamento das águas destinadas à carcinicultura, uma vez que o monitoramento dos parâmetros ambientais de qualidade da água pode auxiliar no ajuste das práticas de manejo, de forma racional e eficiente, melhorando a produção e prevenindo impactos ambientais nos ambientes naturais do entorno. Os índices hidrológicos de qualidade de água nos pontos de amostragem foram calculados para as três fazendas de camarão estudadas (Tabela 6).

A pequena variação espacial dos IH nas fazendas de carcinicultura apresentou valores médios, enquadrando as três fazendas na classe sustentável com médias restrições (IH =  $5,5$ - $7,5$ ) (Tabela 6). Ao examinar melhor os valores de IH, é possível afirmar que os pontos de bombeamento de água na maré cheia apresentam índices significativamente superiores aos locais de bombeamento coletados em maré seca. Esses valores mais altos durante a maré cheia têm correlação direta com o aporte de água do oceano que traz águas com qualidade melhor para as fazendas, corroborando os estudos já realizados por Silva et al. (2009), que observaram melhor qualidade de água no período de maré cheia, quando observados os parâmetros de oxigênio dissolvido, amônia, nitrito e nitrato.

**Tabela 6.** Índices hidrológicos (IH) calculados para as três fazendas de camarão (Fazenda 1, Fazenda 2 e Fazenda 3) no estuário dos rios Cardoso e Camurupim. Valor máximo (Máx), média mensal, mínimo (Mín), desvio-padrão (DP) para os locais de coleta (1 - Local do bombeamento de água para a fazenda; 2 - Montante do bombeamento de água; 3 - Jusante da drenagem; 4 - Montante da drenagem; 5 - Comporta de abastecimento do viveiro x; 6 - Comporta de drenagem do viveiro x; 7 - Comporta de abastecimento do viveiro y; 8 - Comporta de drenagem do viveiro y; e 9 - Canal de drenagem). MS - maré seca; MC - maré cheia; e média geral de cada período de produção de outubro de 2005 e setembro de 2006

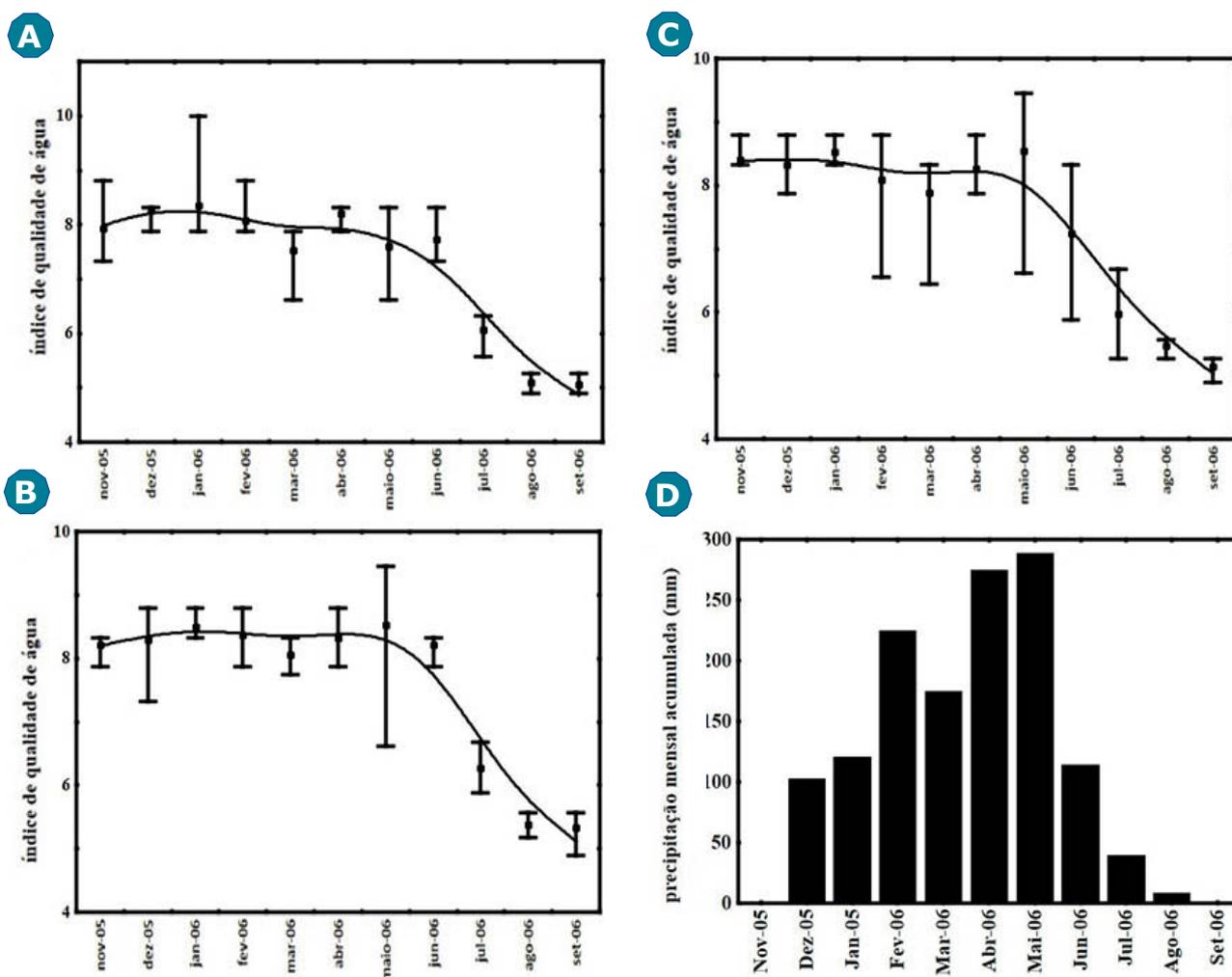
	1-MS	2-MS	3-MS	4-MS	5	6	7	8	9	1-MC	2-MC	3-MC	4-MC
<b>Fazenda 1</b>	Máx	8,8	8,3	8,3	8,3	8,3	9,5	8,9	10	8,3	8,3	8,3	8,3
	Méd	7,3	7,1	7,0	7,1	7,4	7,1	7,3	7,6	7,4	7,3	7,2	7,2
	Mín	4,9	4,9	4,9	4,9	5,3	5,3	5,3	4,9	5,2	4,9	4,9	4,9
	DP	1,3	1,3	1,3	1,3	1,5	1,4	1,5	1,4	1,6	1,2	1,2	1,2
<b>Fazenda 2</b>	Máx	9,5	8,9	9,5	8,9	8,3	8,3	8,3	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8
	Méd	7,6	7,5	7,4	7,5	7,5	7,5	7,5	7,3	7,7	7,8	7,8	7,8
	Mín	5,2	5,2	5,2	4,9	5,6	5,6	5,3	5,3	5,2	5,6	5,6	5,6
	DP	1,4	1,3	1,4	1,4	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,3	1,2	1,2
<b>Fazenda 3</b>	Máx	9,5	9,5	9,5	9,5	8,3	8,8	8,8	8,3	8,8	8,8	8,8	8,8
	Méd	7,6	7,6	7,5	7,5	6,9	7,0	7,4	7,5	7,5	7,6	7,6	7,6
	Mín	5,3	4,9	4,9	4,9	5,3	5,3	5,3	4,9	5,2	5,3	5,3	5,3
	DP	1,4	1,4	1,4	1,4	1,2	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5

Entretanto, foram constatadas diferenças significativas entre os meses, demonstrando intensa variação sazonal que reflete sobre a dinâmica de desenvolvimento dos organismos manejados. A região tem duas estações do ano definidas: a estação chuvosa que corresponde aos meses de janeiro a maio, com pluviosidade total de 850 mm no período, e a estação seca, que corresponde aos meses de junho a dezembro, com precipitações totais inferiores a 200 mm no período. As diferenças sazonais são dominantes sobre as locais. De forma geral, nas três fazendas em estudo, durante o período de seca, foram encontrados valores mais baixos de qualidade de água, enquanto nos meses de chuva, valores mais elevados (Figura 6).

No período seco, foram encontrados valores baixos de IH nas três fazendas analisadas. No início do período seco (junho e julho), o ambiente ainda apresentou a influência das chuvas, entre-

tanto, com a redução da pluviosidade, os valores de IH mostraram a classe sustentável com médias restrições. Já com o passar do tempo e com a falta de chuvas, o ambiente apresentou índices mais baixos, passando para classe sustentável com altas restrições (IH = 3,0-5,5). Os valores de IH só voltaram a normalizar quando o período de chuvas reiniciou (Figuras 6A, 6B e 6C).

Durante o período chuvoso, os valores de IH médios permanecem próximos a 8 nas três fazendas, com os ambientes na classe sustentável com restrição de uso (IH = 7,5-9,0). Os resultados corroboram Silva et al. (2009) e Borges et al. (2012). Os altos valores de IH advêm do grande volume das chuvas na estação chuvosa, que influenciou positivamente a qualidade ambiental da região (Figura 6D). Entretanto, como nos estudos de Ferreira et al. (2011), maior amplitude de variação nos valores de qualidade de água foi encontrada no período chuvoso.



**Figura 6.** Índice hidrológico para carcinicultura (IH) mensal nas três fazendas de camarão no estuário dos rios Cardoso e Camurupim [Fazenda 1 (A), Fazenda 2 (B) e Fazenda 3 (C)] e precipitação média mensal (D) no período de novembro de 2005 a setembro de 2006.

## Conclusões

1. O ecossistema do estuário dos rios Cardoso e Camurupim mostrou ser sustentável recebendo uma influência direta e significativa durante o período chuvoso;
2. Os parâmetros ambientais de qualidade de água apresentaram boas condições de manejo para os organismos cultivados;
3. A conservação ambiental da área pode ser mantida através da constância no monitoramento ambiental dos sistemas de produção de maricultura.

## Referências

- BALLANTINE, D. J.; HUGHES, A. O.; DAVIES-COLLEY, R. J. Mutual relationships of suspended sediment, turbidity and visual clarity in New Zealand rivers. **Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences**, v. 367, p. 265-271, 2015. DOI: 10.5194/piahs-367-265-2015.
- BARBIERI JÚNIOR, R. C.; OSTRENSKY NETO, A. **Camarões marinhos**: engorda. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2002. v. 2, 370 p.
- BELTRAME, E.; BONETTI, C.; BONETTI, J. Pre-selection of areas for shrimp culture in a subtropical Brazilian lagoon based on multicriteria hydrological evaluation. **Journal of Coastal Research**, n. 39, p. 1838-1842, Winter 2006. Special Issue of Proceedings of the 8th International Coastal Symposium (ICS 2004), 2004, Santa Catarina.
- BORGES, G. C. P.; SILVA-CUNHA, M. da D. G. G. da; SANTIAGO, M. F.; LIMA, J. C. de. Comunidade fitoplanctônica e variáveis ambientais em área portuária, nordeste do Brasil. **Tropical Oceanography**, v. 40, n. 2, p. 309-318, 2012. DOI: 10.5914/tropocean.v40i2.5408.
- BOYD, C.; ZIMMERMANN, S. Grow-out systems: water quality and soil management. In: NEW, M. B.; VALENTI, W. C.; TIDWELL, J. H.; D'ABRAMO, L. R.; KUTTY, M. N. (ed.). **Freshwater prawns**: biology and farming. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2010. Cap. 13, p. 239-255.
- BOYD, C. E. **Water quality in ponds for aquaculture**. 2nd ed. Alabama: Auburn University: Alabama Agricultural Experiment Station, 1990. 482 p.
- BRASIL. Lei nº 13.123, de 20 de maio de 2015. Regulamenta o inciso II do § 1º e o § 4º do art. 225 da Constituição Federal, o Artigo 1, a alínea j do Artigo 8, a alínea c do Artigo 10, o Artigo 15 e os §§ 3º e 4º do Artigo 16 da Convenção sobre Diversidade Biológica, promulgada pelo Decreto nº 2.519, de 16 de março de 1998; dispõe sobre o acesso ao patrimônio genético, sobre a proteção e o acesso ao conhecimento tradicional associado e sobre a repartição de benefícios para conservação e uso sustentável da biodiversidade; revoga a Medida Provisória nº 2.186-16, de 23 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 14 maio 2015.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, seção 1, n. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005.
- CAMPOS, A. A. de B.; MAIA, E. de P.; COSTA, W. de M.; BRITO, L. O.; GALVEZ, A. O. Qualidade da água em fazenda de camarão marinho *Litopenaeus vannamei* com sistema de recirculação parcial. **Ciência Animal Brasileira**, v. 9, n. 4, p. 819-826, 2008. DOI: 10.5216/cab.v9i4.522.
- CARBAJAL-HERNÁNDEZ, J. J.; SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, L. P.; CARRASCO-OCHOA, J. A.; MARTÍNEZ-TRINIDAD, J. F. Immediate water quality assessment in shrimp culture using fuzzy inference systems. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 12, p. 10571-10582, 2012. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.02.141.
- CORREIA, L. J. H.; FERNANDES, A. J. D.; LÚCIO, M. M. L. M.; TOMAZ, J. K. de O.; HONORATO, M. B.; CARNEIRO, E. do N. Monitoramento da qualidade físico-química da água do estuário do Rio Paraíba - Cabedelo, PB. **Revista Principia**, n. 27, p. 47-54, dez. 2015. DOI: 10.18265/1517-03062015v1n27p47-54.
- DOI, S. A.; COLLAÇO, F. L.; STURARO, L. G. R.; BARBIERI, E. Efeito do chumbo em nível de oxigênio e amônia no camarão rosa (*Farfantepenaeus paulensis*) em relação à salinidade. **O Mundo da Saúde**, v. 36, n. 4, p. 594-601, 2012. DOI: 10.15343/0104-7809.2012364594601.
- EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E. W.; GREENBERG, A. E. (ed.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21st ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2005. Paginação irregular.
- ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.

- FERREIRA, N. C. **Aplicação de índices de qualidade de água (IQA) como apoio à carcinicultura marinha**. 2009. 61 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- FERREIRA, N. C.; BONETTI, C.; SEIFFERT, W. Q. Hydrological and water quality indices as management tools in marine shrimp culture. **Aquaculture**, v. 318, n. 3-4, p. 425-433, 2011. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2011.05.045
- GARCIA, C. A. B.; SANTOS, G. P.; GARCIA, H. L. Análise dos parâmetros físico-químicos dos viveiros de camarão na grande Aracaju, Sergipe, Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 11, n. 2, p. 209-225, jul./dez. 2009. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/177/976>. Acesso em: 25 jul. 2022.
- HINKLE, D. E.; WIERSMA, W.; JURIS, S. G. **Applied statistics for the behavioral sciences**. 5th ed. Boston: Houghton Mifflin, 2003. 756 p.
- LIMA, R. C.; MIRANDA, P. T. C.; MADRID, R. M. **Princípios para boas práticas de manejo na engorda de camarão marinho no Estado do Ceará**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2005. 109 p.
- LINS, J. A. P. N.; KIRSCHNIK, P. G.; QUEIROZ, V. da S.; CIRIO, S. M. Uso de peixes como biomarcadores para monitoramento ambiental aquático. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 8, n. 4, p. 469-484, 2010. DOI: 10.7213/cienciaanimal.v8i4.11018.
- MEIRELES, A. J. **Carcinicultura: desastre sócio-ambiental no ecossistema manguezal do nordeste brasileiro**. Brasília, DF: CONAMA, 2014. 3 p. Disponível em: [https://conama.mma.gov.br/index.php?option=com\\_sisconama&task=documento.download&id=14758](https://conama.mma.gov.br/index.php?option=com_sisconama&task=documento.download&id=14758). Acesso em: 25 jul. 2022.
- MESQUITA, E. A.; FROTA, P. V.; SOARES, V. S. Carcinicultura no litoral do Ceará: análise das modificações impressas no estuário do rio Pirangi-CE. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 4, p. 540-551, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1854>. Acesso em: 25 jul. 2022.
- NICOL, G. W.; LEININGER, S.; SCHLEPER, C.; PROSSER, J. I. The influence of soil pH on the diversity, abundance and transcriptional activity of ammonia oxidizing archaea and bacteria. **Environmental Microbiology**, v. 10, n. 11, p. 2966-2978, 2008. DOI: 10.1111/j.1462-2920.2008.01701.x.
- NUNES, A. J. P.; GESTEIRA, T. C. V.; OLIVEIRA, G. G.; LIMA, R. C.; MIRANDA, P. T. C.; MADRID, R. M. **Princípios para boas práticas de manejo na engorda de camarão marinho no Estado do Ceará**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2005. 109 p.
- SÁ, M. V. C. **Limnocultura: limnologia para aquicultura**. Fortaleza: Edições UFC, 2012. 218 p.
- SILVA, M. H. da; SILVA-CUNHA, M. da G. G. da; PASSAVANTE, J. Z. de O.; GREGO, C. K. da S.; MUNIZ, K. Estrutura sazonal e espacial do microfitoplâncton no estuário tropical do rio Formoso, PE, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 2, p. 355-368, jun. 2009. DOI: 10.1590/S0102-33062009000200007.
- SILVA, S. L. A. **Qualidade da água e avaliação de efluente em sistema de policultivo de tilápias (*Oreochromis niloticus*) e camarões (*Macrobrachium rosenbergii*)**. 2011. 62 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura e Pesca) - Instituto de Pesca, São Paulo, SP.
- SNEATH, P. H. A.; SOKAL, R. R. Correlation coefficients. In: SNEATH, P. H. A.; SOKAL, R. R. **Numerical taxonomy: the principles and practice of numerical classification**. San Francisco: W. H. Freeman, 1973. p. 137-138.
- TAHIM, E. F.; DAMACENO, M. N.; ARAÚJO, I. F. de. Trajetória tecnológica e sustentabilidade ambiental na cadeia de produção da carcinicultura no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 57, n. 1, p. 93-108, jan./mar. 2019. DOI:10.1590/1234-56781806-94790570106.